

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09311238  
PUBLICATION DATE : 02-12-97

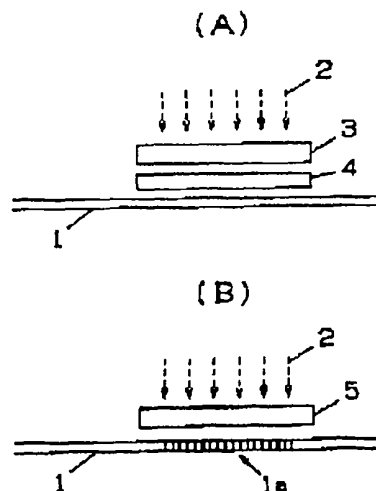
APPLICATION DATE : 22-05-96  
APPLICATION NUMBER : 08127057

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : ENOMOTO TADASHI;

INT.CL. : G02B 6/13 G02B 5/18

TITLE : FORMATION OF OPTICAL  
WAVEGUIDE TYPE DIFFRACTION  
GRATING



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for forming an optical waveguide type diffraction grating capable of forming this optical waveguide type diffraction grating having various reflection or transmission characteristics.

SOLUTION: In a first stage, an optical fiber 1 is irradiated with luminous fluxes 2 for irradiation via an exposure mask 3 and an optical system 4. This optical fiber 1 has a core added with Ge. The refractive index of the core part increases when the core part is irradiated with light near a wavelength of 240nm. A refractive index change is induced in the core part by irradiating the core part with the UV rays of such wavelength as the luminous fluxes 2 for irradiation. The optical system is a cylindrical lens. In a second stage, the core part of the optical fiber 1 in which the refractive index change is induced in the first stage is irradiated with the luminous fluxes 2 for irradiation via a phase mask 5, by which a diffraction grating forming apart 1a is formed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-311238

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/13			G 0 2 B 6/12	M
5/18			5/18	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-127057

(22) 出願日 平成8年(1996)5月22日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 井上 享

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 伊藤 達也

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 伊藤 真澄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 弁理士 石井 康夫 (外1名)

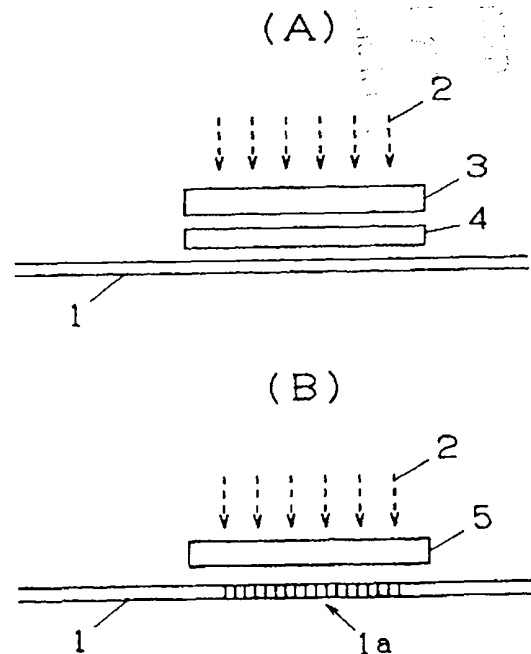
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路型回折格子の作成方法

(57) 【要約】

【課題】 多様な反射あるいは透過特性を有する光導波路型回折格子を作成することができる光導波路型回折格子の作成方法を提供する。

【解決手段】 第1の工程では、露光マスク3および光学系4を介して、照射光束2が光ファイバ1を照射する。光ファイバ1は、Ge添加のコアを有したものであり、これに波長240nm付近の光を照射するとコア部の屈折率が上昇する。このような波長の紫外線を照射光束2として照射し、コア部に屈折率変化を生じさせる。光学系11はシリンドリカルレンズである。第2の工程では、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1のコア部に位相マスク5を介して照射光束2を照射して、回折格子形成部1aが形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部に照射して前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項2】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項3】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に緩やかな光強度分布を持たせるとともに、該緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項4】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

【請求項5】 光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に光強度分布を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることを特徴とする光導波路型回折格子の作成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバまたは薄膜導波路等の光導波部に回折格子が形成された光導波路型回折格子の作成方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】光導波路型回折格子は、Ge等を添加し

た導波路の光誘起屈折率変化を用いて、導波部にブラッグ回折格子を形成したものである。この光導波路型回折格子は、特定波長の光のみを反射する反射フィルタとして利用できるほか、波長制御素子、センサ素子など、広い活用が期待されている。中でも、光導波路として光ファイバを用いたファイバグレーティングは、伝送路として用いられる光ファイバとの接続性もよいため重要となっている。

【0003】光導波路型回折格子の作成方法としては、導波路の側面より紫外線干渉パターンを投影し、任意の周期で空間的に屈折率変化を形成する方法、例えば、2光束干渉法、プリズム干渉法、位相格子干渉法などが知られている。このように、光の干渉を利用して作成する回折格子の屈折率の変化は、等間隔である場合が多く、特定の波長において反射特性を示す。これに対して、チャープトグレーティングが提案されており、例えば、Optical Fiber Communication Conference '94, postdeadline paper-2, PD2-1~PD2-4で知られている。

【0004】図20は、チャープトグレーティングを説明する説明図である。図中、61は波長 $\lambda_1$ の光信号、62は波長 $\lambda_2$ の光信号、63は波長 $\lambda_3$ の光信号、64は波長 $\lambda_4$ の光信号、65は光ファイバである。波長の大小関係は、

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$$

である。チャープトグレーティングは、上述した回折格子の反射波長をファイバの長手方向にずらせたもの、すなわち、チャープさせるものである。このチャープトグレーティングにより波長分散を補償することが可能である。

【0005】このチャープトグレーティングの例では、光ファイバ65は、紫外線光誘起屈折率変化によりコア部の屈折率を変化させたものであり、図示左側から入射された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の各光信号61~64は、途中で入射側に反射される。すなわち、波長が長いものほど入射側から遠い位置で反射されるように、入射側から右側に向かって屈折率変化であるグレーティングの周期が徐々に大きくなるようにされている。

【0006】チャープトグレーティングを作成する方法としては、OPTICS LETTERS, 19(17), (september 1, 1994), p. 1314-1316に記載のように、移動マスクにより遮光される光ファイバにレーザ光を照射した後、位相マスクを介してレーザ光を照射してブラッグ位相格子を形成するという2工程による方法がある。あるいは、特公表平5-508028号公報に記載のように、湾曲した第2の面を有するプリズムによって定在波干渉フィールドを生成することによって形成する方法などがある。

【0007】図21は、従来の2工程でチャープトグレ

レーティングを作成する装置の説明図である。図21

(A)は第1の工程、図21(B)は第2の工程の説明図である。図中、1は光ファイバ、1aは回折格子形成部、2は照射光束、5は位相マスク、71は遮光マスクである。

【0008】図21(A)に示す第1の工程では、光ファイバ1の上で、光ファイバ1の長手方向に沿って、遮光マスク71を一定速度で移動させ、この上から、レーザー光等の照射光束2を光ファイバ1に照射する。この遮光マスク71の動きにより、光ファイバ1は部分によって露光時間が異なるために、光ファイバ1のコア部の屈折率が長手方向に線形的に増加する。

【0009】図21(B)に示す第2の工程では、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1に空間的に一定周期の位相マスク5を介して照射光束2を照射して、格子間隔が一定のブラッグ位相格子である回折格子形成部1aを形成する。第1の工程で生じた屈折率変化によって、コア部を伝搬する伝搬光の速度が変化するため、実効的な格子間隔が変化することになり、チャープトグレーティングが形成される。

【0010】しかし、回折格子の反射率の波長特性あるいは透過特性として、上述したチャープトグレーティングに限らず、多様な特性のものを得たいという要望があるが、光ファイバ1のコア部の屈折率を長手方向に線形的に増加させるだけでは、この要望を満たすことができない。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述した問題点を解決するためになされたもので、多様な反射あるいは透過特性を有する光導波路型回折格子を作成することができる光導波路型回折格子の作成方法を提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部に照射して前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0013】請求項2に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、前記光導波路に、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とする

ものである。

【0014】請求項3に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に緩やかな光強度分布を持たせるとともに、該緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0015】請求項4に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、前記光導波路に、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し前記所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成することを特徴とするものである。

【0016】請求項5に記載の発明においては、光導波路型回折格子の作成方法において、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、長手方向に光強度分布を持たせて照射して、前記光導波部に屈折率変化を形成した後、前記光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることを特徴とするものである。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法による光導波路型回折格子の作成装置の説明図である。図1(A)は第1の工程、図1(B)は第2の工程の説明図である。図中、図21と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。3は露光マスク、4は光学系である。図21を参照して説明した従来の装置に比べ、第1の工程において、移動する遮光マスク71に代え、露光マスク3と光学系4を用いたものである。透過率が光ファイバ1の光軸方向、すなわち長手方向に変化する露光マスク3によって、長手方向に光強度分布を持たせたもので、光ファイバ1のコア部の屈折率を長手方向に任意に変化させることができる。

【0018】図1(A)に示す第1の工程では、光ファイバ1の長手方向に沿って、露光マスク3が配置され、さらに、この露光マスク3と光ファイバ1との間に光学系4が配置され、露光マスク3および光学系4を介して、照射光束2が光ファイバ1を照射する。光ファイバ1は、Ge添加のコアを有したものであり、これに波長

210 nm 付近の光を照射するとコア部の屈折率が上昇する。このような波長の紫外線を照射光束2として照射し、コア部に屈折率変化を生じさせる。

【0019】この実施の形態では、照射光束2は、均一な強度分布を有したものとするが、必ずしも均一である必要はない。適宜の補正を行なうことにより、所望の光強度分布を得ることができればよい。光学系11は、露光マスク3を透過した光を光ファイバ1のコア部に収束させるためのもので、光ファイバ1の光軸と平行な軸を有するシリンドリカルレンズを用いた。もちろん、光学系4を用いることなく、露光マスク3からの光線を直接、光ファイバ1に導入してもよい。

【0020】図1(B)に示す第2の工程は、図21(B)に示した従来の第2の工程の装置と同様であり、第1の工程で屈折率変化を生じた光ファイバ1のコア部に位相マスク5を介して照射光束2を照射して、回折格子形成部1aが形成される。

【0021】この装置では、露光マスク3の長手方向の透過率分布を、所望する特性に応じて任意に設定することにより、照射光束2に、光ファイバ1の長手方向に任意の光強度分布を持たせることができる。最初に、従来技術と同様なチャープグレーティングを作成する方法を一例として説明する。

【0022】図2は、チャープグレーティングにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図2(A)は露光マスクの透過率分布、図2(B)は露光マスクを透過する照射光束の光強度分布、図2(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図2(D)は位相マスクを透過する照射光束の光強度パターン、図2(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布を示し、図2(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図2(F)において1は光ファイバである。

【0023】チャープグレーティングは、第1の工程において、図1(A)に示した露光マスク3として、透過率分布が、図2(A)に示したように、光ファイバの軸方向に左側を起点として、右側への位置に対応して直線的に透過率が大きくなっているものを用いる。これを透過する照射光束2の光強度は、図2(B)に示すように、右側に行くにつれて増加する。このような光強度分布の光を照射すると、光導波部に、図2(C)に示すように右側に行くにつれ屈折率が増加する屈折率変化を与える。起点の位置および起点の透過率の値は適宜設定される。

【0024】第2の工程において、屈折率変化が与えられた領域を含む光導波路に、図1(B)に示した位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンは、図2

(D)に示すように、空間的な周期が光導波路の長手方向に一定である。その結果、図2(E)に示すように、右側に行くにつれ増加する屈折率に光ファイバ1の軸方向に等間隔で一定の屈折率変化が重畳されたものが形成される。

【0025】屈折率が大いことは、光路長が大いことと等価であるから、図2(E)の屈折率分布をもつ回折格子は、実効的に右側に行くにつれて間隔が広がるような回折格子、すなわち、チャープグレーティングが形成される。このチャープグレーティングは、図2(F)に示すように、右側に行くにつれて反射波長が長くなる特性を示す。したがって、反射帯域を拡げることができる。また、この特性によって、図2(F)に示すように、左側から進行した光信号は、その波長に応じて、波長 $\lambda_1$ の成分が進行した側に近い位置で反射し、波長 $\lambda_2$ の成分が進行した側から中間の位置で反射し、波長 $\lambda_3$ の成分が進行した側から遠い位置で反射する。波長の大小関係は、 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ である。

【0026】すなわち、波長の長い成分ほど大きい距離を経由して反射することとなり、これと逆の特性を持った波長分散の補償ができる。このようにして作成された回折格子に逆方向である右側から光信号を導入してもよい。その場合は、波長の短い成分ほど大きい距離を経由して反射することとなる。

【0027】図1(A)に戻って説明する。露光マスク3の透過率分布は、右側に行くにつれて透過率が直線的に大きくなったものであるが、透過率分布は、所望する反射特性に応じたパターンとすることができる。すなわち、直線状に限らず、曲線状、あるいは、折れ線状に屈折率を増加させるようにしてもよく、あるいは、これらとは逆に右側に行くにつれて透過率が減少するようにしてもよい。また、必ずしも一方向に増加または減少させるものに限らず、左右対称的なパターン等、適宜のパターンで透過率を変えるようにして、希望する反射特性のチャープグレーティングを作成することができる。

【0028】あるいは、第1の工程においては、露光マスク3の透過率を均一にするか、露光マスク3を取り外して、均一な強度分布を与えるように照射を行なうようにしてもよい。それにより、あらかじめ、第2の工程における回折格子の格子間隔を実質的に拡げることができる。

【0029】図3は、光導波路型フェブリヘローフィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図3(A)は露光マスクの透過率分布、図3(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図3(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図3(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図3(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率分布を示し、図3(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説

明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図3(F)において1は光ファイバである。

【0030】光導波路型ファブリペローフィルタを作成するには、第1の工程において、露光マスク3の透過率の分布を図3(A)に示すような、光ファイバ1の光軸の方向の所定間隔においてのみ光を透過させる特性とする。光ファイバ1に照射する光強度分布は、図3(B)に示すように、光導波路の一部の所定間隔にわたって相対強度が1であって、他の領域において相対強度が0であり遮光される略矩形形状であって、略方形波状に急峻に変化するような特性になっている。したがって、光ファイバ1の一部の所定間隔にわたって光が照射される。相対強度が1の所定間隔内において、光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度の強度を持たせる。このような光強度分布の光を照射すると、光導波部に、図3(C)に示すような屈折率変化を与える。

【0031】第2の工程において、屈折率変化が与えられた領域を含む光導波部に、位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。その際の、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンは、図3(D)に示すように、空間的な周期が光導波路の長手方向に一定で上述した所定間隔よりも短い明暗を持った一定振幅の強度分布パターンである。振幅は、振幅のピークが光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度までに大きくすると好適である。

【0032】その結果、図3(E)に示すように、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、周期が長手方向に一定な回折格子が作成される。第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、中央部分に1個であり、照射される領域の幅は、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の周期の10倍以上であることが好ましい。この場合、屈折率の変調パターンの周期性とは独立して所定間隔を設定することができる。

【0033】図3(E)に示されるように、光導波部の長手方向の少なくとも2箇所に回折格子部を有し、この回折格子部は屈折率が長手方向に一定な周期で変調され、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルとなる部分を有している。中央の領域で屈折率変化が欠如しており、この部分での多重反射により、入射角が0°のファブリペローフィルタとなる。

【0034】反射型のフィルタとして使用する場合を考える。屈折率変化の欠如がない場合には、回折格子の屈折率の周期に対応する所定の波長の光が入射方向に反射し、その他の波長の光は図示を省略した無反射終端で吸収される。屈折率変化が欠如している場合には、図3

(F)に示すように、左側の回折格子領域で反射する反

射光R<sub>1</sub>および右側の回折格子領域で反射する反射光R<sub>2</sub>とは、照射される領域の長さにはほぼ対応した間隔dにより位相差が生じる。なお、格子が連続している左右の各回折格子領域内では位相状態が合っている。

【0035】光の波長をλ、光導波部の屈折率をnとし、mを正の整数とすると、透過光が最大になるのは、 $2nd = m\lambda$ のときであり、透過光が最小になるのは、 $2nd = (2m+1)\lambda/2$ のときである。その結果、回折格子を透過または反射する波長の光のうち、上述した条件を満たす波長の光の透過率または反射率を最大または最小にすることができる。なお、隣り合う透過ピークの間隔(波数差)Δσは、 $\Delta\sigma = 1/(2nd)$ で表されるため、実用上、dが小さい方が単一の波長(波数)の光を分離して取り出しやすくなるが、強度分布パターンの空間的な周期の10倍以上であることが好ましい。

【0036】なお、上述した説明では、露光マスク3により、照射される領域の長さを設定したが、照射光束2の光ファイバ長手方向の長さを間隔dに対応する長さまで短くすることができれば、露光マスク3は不要である。また、第1の工程で、光ファイバ1に照射する光強度分布は、必ずしも所定間隔にわたって光導波部の屈折率が飽和レベルに達する強度を持たせる必要はない。ある程度の強度を持たせれば、周期的変化の変調量を低減させ、反射率を小さくするからである。

【0037】図4は、第1の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図4(A)は露光マスクの透過率分布、図4(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図4(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図4(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図4(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布を示し、図4(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図4(F)において1は光ファイバである。

【0038】第1の光導波路型帯域フィルタを作成するには、第1の工程において、露光マスク3の透過率の分布を、図4(A)に示すように、光ファイバ1の軸方向に左側を起点として、右側への位置に対応して直線的に透過率が大きくなるとともに、光軸の方向の所定間隔において光を大きく透過させるような、所定の透過率を有する特性とする。光ファイバ1に照射する光強度分布は、図4(B)に示すように、右側に行くにつれて増加する緩やかな光強度分布を有するとともに、この緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって相対強度が1の略矩形形状であって、略方形波状に急峻に変化するような特性になっている。相対強度が1の所定間隔内において、光導波部の屈折率が飽和レベルに達する程度の強度

を持たせることにより、光導波部に図4(C)に示すような屈折率変化を与える。起点の位置および起点の透過率の値は適宜設定される。

【0039】第2の工程においては、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンは、図4(D)に示すように、空間的な周期が光導波路の長手方向に一定で上述した所定間隔よりも短い明暗を持った一定振幅の強度分布パターンである。その結果、図4(E)に示すように、光導波部の長手方向の少なくとも2箇所に回折格子部を有し、この回折格子部は屈折率が長手方向に一定な周期で変調され、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルになる部分を有し、2箇所の回折格子部にまたがって平均的屈折率が緩やかに変化している。すなわち、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、周期が長手方向に一定な回折格子に直線的に増加する屈折率変化が重畳される。その結果、チャープグレーティングが形成されると同時に、特定の波長領域を反射させる回折格子の屈折率変化のパターンが実質的に消去される。

【0040】第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、1個であり、照射される領域の位置および長さは、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の変化の周期の10倍以上であることが好ましい。この場合、屈折率の変調パターンの周期性とは独立して所定間隔を設定することができる。また、図4(A)に示した透過率分布の緩やかな成分は、必ずしも長手方向に直線的に増加させる必要はなく、所望のフィルタ特性および、光強度と屈折率変化の対応関係に応じて適宜設計される。

【0041】反射型のフィルタとして使用する場合を考える。屈折率変化の欠如がない場合は、波長 $\lambda_1$ から波長 $\lambda_2$ までの光が入射方向に反射し、その他の波長の光は透過して図示を省略した無反射終端で吸収される。屈折率変化が欠如している場合には、図4(F)に示すように、屈折率変化が欠如した領域で反射するはずであった波長 $\lambda_1$ 、 $(\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3)$ の光は光ファイバ1のコア部を左から右に透過する。

【0042】図5は、光導波路型帯域フィルタの特性を模式的に示す特性図であり、図5(A)は反射特性、図5(B)は透過特性の線図である。上述した屈折率変化によって、この回折格子を反射器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図5(A)に示すように反射率が波長 $\lambda_1$ の近傍において低下する反射型の帯域阻止フィルタとなる。一方、この回折格子を透過器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図5(B)に示すように透過率が波長 $\lambda_1$ の近傍において上昇する透過型の帯域通過フィルタとなる。光は図4(D)の光ファイバ1の右側から入射させてもよく、波長対位相特性は逆に

なるが同様の反射率および透過率となる。

【0043】上述した説明では、露光マスク3により、照射される領域の長さを設定したが、照射光束2の光ファイバ長手方向の長さを短くし、照射位置を位置決めできれば、露光マスク3は不要である。また、図3を参照して説明した光導波路型ファブリペローフィルタの場合と同様に、第1の工程で、必ずしも所定間隔にわたって光導波部の屈折率が飽和レベルに達する強度を持たせる必要はない。

【0044】図6は、第2の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。図6(A)は露光マスクの透過率分布、図6(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図6(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布、図6(D)は位相マスクを透過した照射光束の光強度パターン、図6(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布、図6(F)は回折格子のビッチを示し、図6(G)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図6(G)において1は光ファイバである。

【0045】この例では、第1の工程として、図3を参照して説明した光導波路型ファブリペローフィルタの例と同様の透過率の分布を有する露光フィルタ3を用いる。したがって、図6(A)ないし図6(C)は、図3(A)ないし図3(C)と同様である。

【0046】第2の工程において、屈折率変化が与えられた領域を含む光導波部に、位相マスク5を介して、照射光束2を照射する。その際、位相マスク5を通過した照射光束2の強度分布パターンを、この例では図6(D)に示す特性とする。すなわち、空間的な周期が光導波路の長手方向に変化し上述した所定間隔よりも短い明暗を持った一定振幅の強度分布パターンである。このような強度分布パターンを実現するには、例えば、位相格子5をチャープグレーティングを形成するようなパターンのものとすればよい。

【0047】その結果、図6(E)に示すように、光導波部の長手方向の少なくとも2箇所に回折格子部を有し、この回折格子部は2箇所の前記回折格子部にわたって屈折率の周期が長手方向に緩やかに変化するとともに、回折格子部の間にこの周期よりも長い所定間隔にわたって屈折率が大きな所定レベルとなる部分を有している。すなわち、光導波部の屈折率が飽和レベルに達していた部分を除いては、空間的な周期が長手方向に変化する回折格子が作成される。

【0048】第1の工程において、飽和レベルに達する屈折率変化を与えられる領域の個数は、通常、1個であり、照射される領域の位置および長さは、所望のフィルタ特性に合わせて設計されるが、回折格子の屈折率の変化の周期の10倍以上であることが好ましい。

【0019】このフィルタは、図1、図5を参照して説明した第1の光導波路型帯域フィルタと同様な特性を有するものである。第1の光導波路型帯域フィルタでは、回折格子の周期が一定な屈折率変化に直線的に増加する屈折率変化を重ねさせることによってチャープグレーティングを実現したが、この第2の光導波路型帯域フィルタの作成方法においては、第2の工程で回折格子の空間的な周期が光ファイバの長手方向に徐々に変化するチャープグレーティングを形成している。

【0050】図1を参照して説明した光導波路型回折格子の作成装置は、図21を参照して説明した従来の作成装置に比べて、任意の光強度パターンを容易に得ることができる利点がある。しかし、第1の工程および第2の工程において使用する具体的な装置は、図1に示した作成装置に限られるものではない。以下、第1、第2の各工程で用いられ、同様の利点を有する作成装置の他の具体例について説明する。

【0051】図7は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第2の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。11は反射鏡である。図1(A)に示した露光マスク3に代えて、反射率が変化する反射鏡11を用いて光強度分布を持たせたものである。

【0052】反射鏡11として、反射率が緩やかに変化する反射鏡を用い、反射率の変化特性を、例えば、図の上方が大きく、下方に行くに従って直線的に反射率が小さくなっているものを用いて、第1の工程を実施すれば、図2に示したチャープグレーティングを作成することができる。図1(A)に示した露光マスク3の透過率分布と同様に、反射率分布を適宜設定することにより、第1の工程における屈折率変化を形成し、図2ないし図6を参照して説明したような、種々の特性のフィルタを作成することができる。

【0053】図8は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第3の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。21は移動照射光束である。移動照射光束21は、光ファイバ1に対する照射範囲を光ファイバ1の光軸方向に移動しながら照射するものである。照射光束の大きさは、回折格子の間隔より大きくてもよいが、照射範囲に比較して小さいものである。適当な光学系によって、光源から照射された照射光を絞るようにしてもよい。

【0054】移動照射光束21の移動速度を変化させると、移動速度が速い部分においては、照射量が少なく、移動速度が遅い部分においては、照射量が多くなるから、移動速度の変化によって、光ファイバ1に対して照射する光に実効的な光強度分布を持たせることができる。例えば、移動速度の変化を緩やかに行なうことによって、回折格子に対して緩やかな屈折率変化を重ねさせ

ることができる。移動速度を変化させる代わりに、移動速度を一定にして、移動位置に応じて照射光に光強度分布を持たせてもよい。

【0055】例えば、移動光源の強度を緩やかに変化させることによって、回折格子に対して緩やかな屈折率変化を重ねさせることができる。また、移動速度と照射光の強度の両方を変化させることもできる。移動速度および照射光の強度の変化のパターンの少なくとも一方によって、所望の光強度分布を持たせることができる。

【0056】移動位置に応じて照射光の強度を変化させるには、図1(A)に示した露光マスク3を用いてもよい。特に、移動速度の変化と光強度の変化の一方を主として、他方をこの補正用に用いると好適である。光強度の変化は、露光マスク3の他にも、レーザ光源の光強度をレーザービームすなわち、移動照射光束21の移動に同期させて制御することにより実現することも可能である。

【0057】移動速度の変化を適宜設定することにより露光時間を変化させ、図1(A)に示した露光マスク3の透過率分布と同様に、第1の工程における屈折率変化を形成し、図2ないし図6を参照して説明したような、種々の特性のフィルタを作成することができる。なお、図3を参照して説明した光導波路型ファブリペローフィルタや図6を参照して説明した第2の光導波路型帯域フィルタを作成する際には、大きな屈折率変化を与える必要のある領域にのみ移動照射光束21の移動範囲を制限しても所望の屈折率分布を実現することができる。

【0058】図9は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第2の具体例の説明図である。図中、図21、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。図1(B)に示した位相マスク5に代えて、2光束干渉法を用いるものである。31はビームスプリッタ、32、33はミラーである。照射光束2をビームスプリッタ31によって2分し、それぞれを、ミラー32、33で光ファイバ1の側面に照射する。2分された照射光束2は、光ファイバ1のコア部分において干渉し、干渉縞をコア部分に照射することになる。光ファイバ1のコア部分は、干渉縞に応じたパターンで屈折率の変化が生じ、回折格子が形成される。

【0059】図10は、本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第3の具体例の説明図である。図中、図1と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。41はプリズムである。照射光束2をプリズム41の一面に照射し、プリズム41内で屈折して生じた干渉縞を、光ファイバ1のコア部分に照射する。光ファイバ1のコア部分は、干渉縞に応じたパターンで屈折率の変化が生じ、回折格子が形成される。

【0060】図6を参照して説明した第2の光導波路型帯域フィルタの作成においては、第2の工程において、チャープされた回折格子を形成する必要があった。図9



に示した2光束干渉法では、レンズを用いて平面波の波面を曲げればよく、図10に示したプリズム干渉法では、プリズムの入射面を曲げればよい。従来技術の説明において参照した特公表平5-508028号公報に記載のようなプリズムによってチャープされた回折格子を形成してもよい。

【0061】次に、光導波路型回折格子の平均的屈折率を光ファイバの長手方向に一定にする光導波路型回折格子の作成方法について説明する。反射特性のサイドローブの発生を抑えた光導波路型回折格子を一例として説明する。そのため、まず、サイドローブについて最初に説明する。

【0062】図11は、従来の回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。図1(B)、図9、図10を参照して説明した方法で作成した回折格子の屈折率の変化は、図11(A)に示すように、所定範囲において、均一な変化を示している。すなわち、回折格子が形成されていない部分から、不連続的に回折格子が形成された部分につながっている。この回折格子を反射器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図11(B)に示すように、波長 $\lambda_0$ で大きな反射率を示すだけでなく、波長 $\lambda_0$ の近傍においてさほど大きくはないが、反射率が大きくなる波長が存在し、サイドローブを有する特性を示す。したがって、所望しない波長での反射が生じるという問題がある。

【0063】図12は、サイドローブのない回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。図12(A)は、サイドローブをなくした回折格子の屈折率変化の一例の概要を示すものである。屈折率の上昇部分は、徐々に大きくなり中央部分で最大となり、それから徐々に減少している。中央を対称軸としてはほぼ対称的なパターンであるが、必ずしも対称にしなくてもよい。要は、屈折率変化の包絡線が徐々に上昇し、その後徐々に減少していればよい。このような屈折率変化によって、不連続的な屈折率変化が生じないため、この回折格子を反射器として用いた場合の波長に対する反射特性は、図12(B)に示すように、波長 $\lambda_0$ で大きな反射率を示し、サイドローブの発生を抑えることができる。図12(A)に表わした屈折率の変化を有する光導波路型回折格子の作成方法については、図14ないし図19を参照して後述する。

【0064】なお、図12(A)に示す屈折率変化においては、屈折率が長手方向に一定な周期の場合と、長手方向に徐々に変化する周期の場合がある。後者の場合には、回折格子の反射波長がファイバの長手方向にずれ、従来技術において示したOPTICS LETTERS, 19(17), (september 1, 1994), p. 1314-1316に記載されたようなサイドローブが抑圧されたチャープトグレーティングが実現される。

【0065】しかし、図12(A)の破線で表わされるように、平均的屈折率は、回折格子の変調量の変化に応じて、光ファイバの長手方向に変化している。その結果、回折格子の周期が光ファイバの長手方向に一定であっても、平均的屈折率に応じて光の伝搬速度が変化するため、回折格子を構成する個々の格子間の間隔が実質的に変化することになる。その結果、反射波長が光ファイバの長手方向に変化することになり、特に、屈折率が長手方向に一定な周期の場合に問題が大きい。

【0066】図13は、平均的屈折率を光ファイバの長手方向に一定にする光導波路型回折格子の作成方法の説明図である。図13(A)は露光マスクの透過率分布、図13(B)は露光マスクを透過した照射光束の光強度分布、図13(C)は第1の工程において屈折率変化を受けたときの屈折率分布を示す。図13(D)は第2の工程において光ファイバに照射される照射光束の光強度分布、図13(E)は第2の工程において作成された回折格子の屈折率の分布を示し、図13(F)はこの光導波路型回折格子の作用の説明図である。いずれの説明図も模式的に表わしている。横軸は光ファイバの長手方向に沿った位置である。図13(F)において1は光ファイバである。

【0067】この具体例では、図1(A)に示した装置を用いて第1の工程を実施する。図1(A)に示した露光マスクとして、透過率分布が、図13(A)に示すように、光ファイバの軸方向に中央を起点として、左側、右側への位置に対応して直線的に透過率が大きくなり、その外側が一定値となるものを用いる。これを透過する照射光束2の光強度は、図13(B)に示すように、左側、右側に行くにつれて増加して一定値となる。このような光強度分布の光を照射すると、光導波部に、図13(C)に示すように左側、右側に行くにつれて屈折率が増加して一定値となる屈折率変化を与える。

【0068】第2の工程において、具体的な装置の構成は後述するが、光強度分布は、図13(D)に示すように、光ファイバ1の光軸方向に空間的な周期が一定な明暗を持つ光強度パターンであるとともに、光強度パターンの明暗の変調量が長手方向に変化して、正のピーク値を結ぶ包絡線が徐々に大きくなり中央部分で最大となり、それから徐々に減少している。このような光強度分布の照射光束を光ファイバに照射する。その際、図13(D)に示した光強度分布の照射光束によって形成される屈折率変化の平均的屈折率と、上述した図13(C)に示した屈折率変化の平均的屈折率の和がほぼ一定になるように、図13(B)に示した光強度分布および図13(D)に示した光強度分布を調整する必要がある。

【0069】その結果、図13(E)に示すように、光導波部に回折格子部を有し、回折格子部は屈折率が長手方向に一定な周期でかつ長手方向に変化する変調量で変調されるとともに、長手方向に一定な平均的屈折率を有

している。すなわち、光ファイバ1の光軸方向に周期が一定な回折格子を有するとともに、屈折率の変調量が長手方向に変化して屈折率の上側および下側のピーク値を結ぶ包絡線が上下対称で長手方向に緩やかに変化する。この回折格子は、変調量とは無関係に平均的屈折率が光ファイバの長手方向に一定となり、図13(F)に示すように反射波長が一定となる。図示のように、平均的屈折率を一定とする範囲を回折格子部の前後に拡げているため、回折格子部の両端での平均的屈折率の急激な変化を避けることができる。

【0070】なお、第2の工程で作成される光導波路型回折格子は、図13(D)に示されるものに限られず、任意のものを作成することができる。屈折率の変調量に応じて、あらかじめ第1の工程において、平均的屈折率が光ファイバの長手方向に一定となるような屈折率変化を与えておけばよい。また、平均的屈折率を光ファイバの長手方向に任意に変化させることも可能である。

【0071】図14は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第1の例の概略構成図である。図中、図1(B)と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。51は露光マスクである。この例は、図1(B)と同様の位相格子干渉法を適用したものである。露光マスク51は、光ファイバ1の直前に置いた。露光マスク51の透過率は、中間で大きく両側にいくにしたがって小さくなっている。露光マスク51の透過率が変調されていることによって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせ、図13(D)に示した光強度分布を与えることができる。なお、露光マスク51は、入射側、すなわち、位相格子51に入射する側の光学系に挿入してもよい。

【0072】図15は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第2の例の概略構成図である。図中、図9、図14と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。この実施の形態は、図9で説明した2光束干渉法を適用したものである。この例は、露光マスク51を光ファイバ1の直前に置いたものである。露光マスク51の透過率は、中間で大きく両側にいくにしたがって小さくなっている。露光マスク51の透過率が変調されていることによって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせ、図13(D)に示した光強度分布を与えることができる。

【0073】図16は、第2の工程で用いられ、図15に示した第2の装置の変形例の概略構成図である。図中、図15と同様な部分には、同じ符号を付して説明を省略する。図16(A)は、透過率が中間で大きく両側にいくにしたがって小さくなっている露光マスク51を、ビームスプリッタ31を透過した光学系に挿入した

ものである。また、図16(B)は、同様の露光マスク51を、ビームスプリッタ31を反射した側の光学系に挿入したものである。いずれも、露光マスク51を挿入した光学系の照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができ、光ファイバ1に照射する照射光束としては、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。もちろん、ビームスプリッタ31を透過した側と反射の側との両方の光学系に同様の露光マスク51を挿入してもよい。

【0074】なお、図16(A)、図16(B)の場合には、図13(D)に示された干渉による光強度パターンに、干渉しない成分が加わるために、第1の工程では、この点を考慮して光強度分布を設定する必要がある。ビームスプリッタ31を透過した側と反射の側との両方の光学系に異なる特性の露光マスク51を挿入する場合にも、同様に干渉しない成分を考慮する必要がある。

【0075】図16(C)は、ビームスプリッタ31に入射する光学系に透過率が中間で大きく両側にいくにしたがって小さくなっている露光マスク51を挿入したものである。この変形例においても、ビームスプリッタ31に入射する光学系の照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができ、光ファイバ1に照射する照射光束としては、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有する照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。

【0076】図17は、第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を実現する装置の第3の例の概略構成図である。図中、図10、図14と同様な部分には同じ符号を付して説明を省略する。この例は、図10で説明したプリズム干渉法を適用したものである。露光マスク51は、光ファイバ1の直前に置いた。この例も、透過率が中間で大きく両側に行くにしたがって小さくなっている露光マスク51によって、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンを有し照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。露光マスク51は、図16(C)で説明したように、入射側、すなわち、プリズム41に入射する光学系に挿入してもよい。

【0077】これらの例で用いた露光マスク51について説明する。図18は、強度パターンの具体例の説明図である。図18(A)は、強度が直線的に変化する例である。横軸Xは光ファイバの軸方向の距離であり、形成される回折格子の中央を0とした。また、縦軸Yは最大値を1とした強度の相対値である。

【0078】これを関数で表現すれば、 $Y=1-a \cdot |X|$ となる。ただし、aは定数である。

【0079】図18(B)は、強度が曲線的に変化する

【0085】あるいはまた、図14に示した露光マスク1を併用してもよい。移動速度の変化と、透過率が変調された露光マスク1による光強度の変化とにより、照射光束の全体にわたって緩やかな光強度分布を持たせることができる。特に、移動速度の変化と光強度の変化

【0089】請求項2に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で所定間隔よりも短い暗略

を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易にファブリペローフィルタを作成することができるという効果がある。

【0090】請求項3に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、光導波路に、長手方向に緩やかな光強度分布を持たせるとともに、緩やかな光強度分布の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に一定で所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易に帯域通過型または帯域阻止型のフィルタを作成することができるという効果がある。

【0091】請求項4に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、前記光導波路に、光導波路の一部の所定間隔にわたって屈折率変化を飽和させる強度を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、光導波路に、空間的な周期が長手方向に変化し所定間隔よりも短い明暗を持った強度分布パターンとして照射して、光導波路上に回折格子を形成することから、容易に帯域通過型または帯域阻止型のフィルタを作成することができるという効果がある。

【0092】請求項5に記載の発明によれば、光導波路の光導波部に屈折率変化を生じさせる波長の光を、光導波路に、長手方向に光強度分布を持たせて照射して、光導波部に屈折率変化を形成した後、この光を、前記光導波路に、空間的に周期的な明暗を持った強度分布パターンとして照射して、前記光導波路上に回折格子を形成するとともに、平均的屈折率を長手方向に一定にすることから、所望の変調特性を有しながら平均的屈折率を一定にした光導波路型回折格子を作成することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路型回折格子の作成方法による光導波路型回折格子の作成装置の説明図である。

【図2】チャープグレーティングにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図3】光導波路型ファブリペローフィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図4】第1の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図5】光導波路型帯域フィルタの特性を模式的に示す特性図である。

【図6】第2の光導波路型帯域フィルタにおける屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図7】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第2の具体例の説明図である。

【図8】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第1の工程の第3の具体例の説明図である。

【図9】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第2の具体例の説明図である。

【図10】本発明の光導波路型回折格子の作成方法における第2の工程の第3の具体例の説明図である。

【図11】従来の回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図12】サイドローブのない回折格子における屈折率分布と反射特性の説明図である。

【図13】平均的屈折率を光ファイバの長手方向に一定にする光導波路型回折格子の作成方法の説明図である。

【図14】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第1の例の概略構成図である。

【図15】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した光強度分布を有する装置の第2の例の概略構成図である。

【図16】第2の工程で用いられ、図15に示した第2の例の変形例の概略構成図である。

【図17】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第3の例の概略構成図である。

【図18】強度パターンの具体例の説明図である。

【図19】第2の工程で用いられ、図13(D)に示した屈折率変化を有する光導波路型回折格子の作成装置の第4の例の概略構成図である。

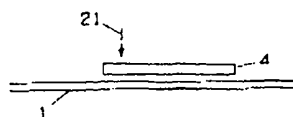
【図20】チャープグレーティングを説明する説明図である。

【図21】従来のチャープグレーティングを作成する装置の説明図である。

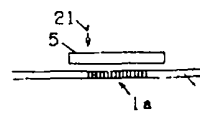
【符号の説明】

1…光ファイバ、1a…回折格子形成部、2…照射光束、3…露光マスク、4…光学系、5…位相マスク、11…反射鏡、21…移動照射光束、31…ビームスプリッタ、32、33…ミラー、41…プリズム、51…露光マスク、71…遮光マスク。

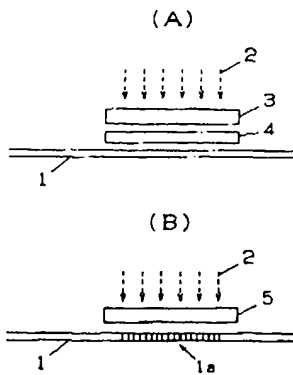
【図8】



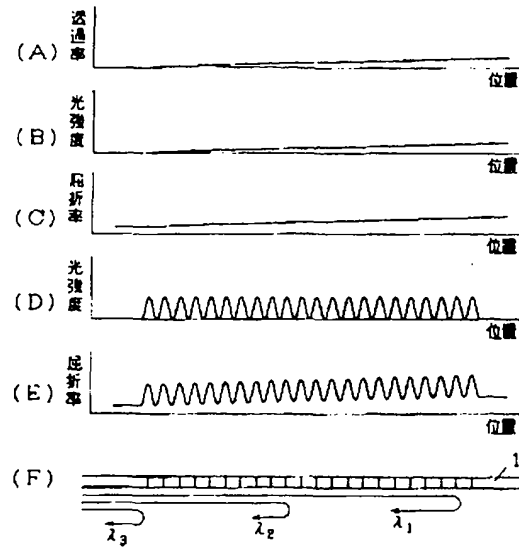
【図19】



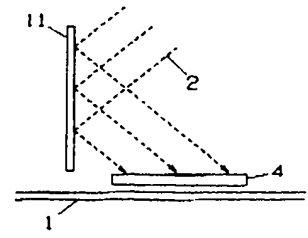
【図1】



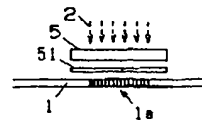
【図2】



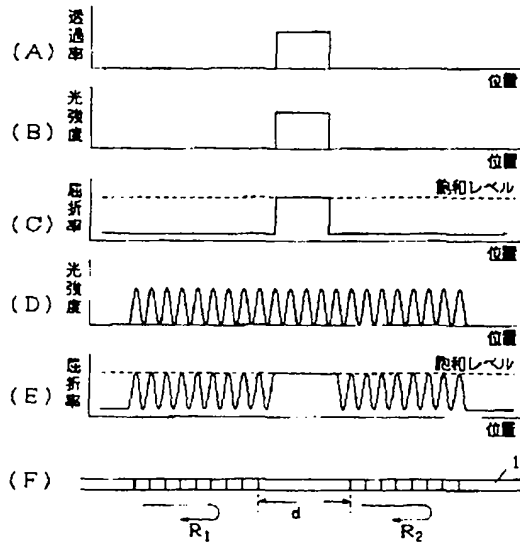
【図7】



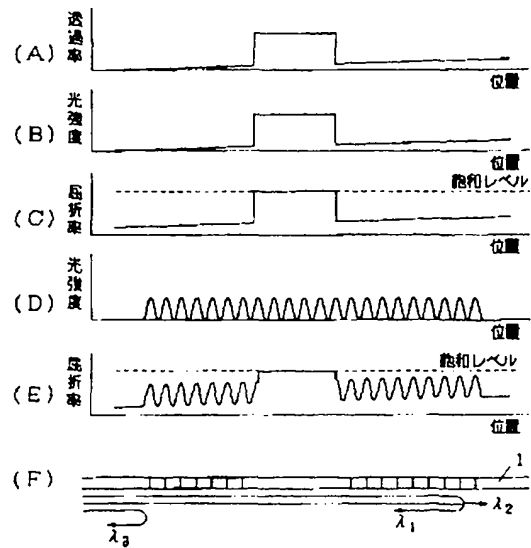
【図14】



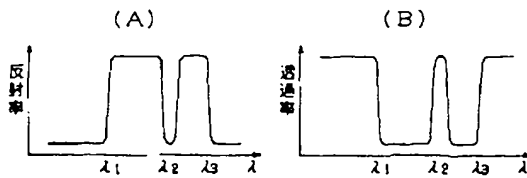
【図3】



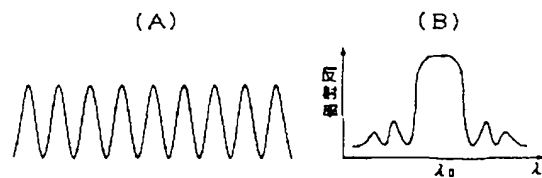
【図4】



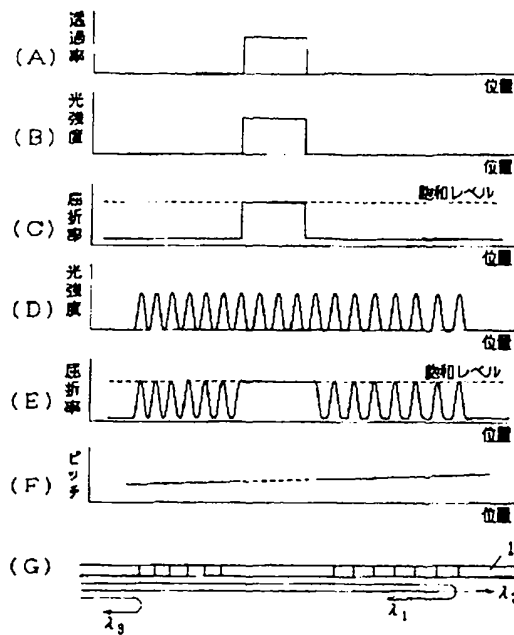
【図5】



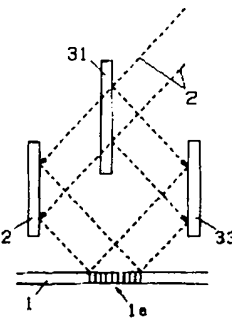
【図11】



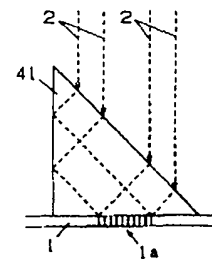
【図6】



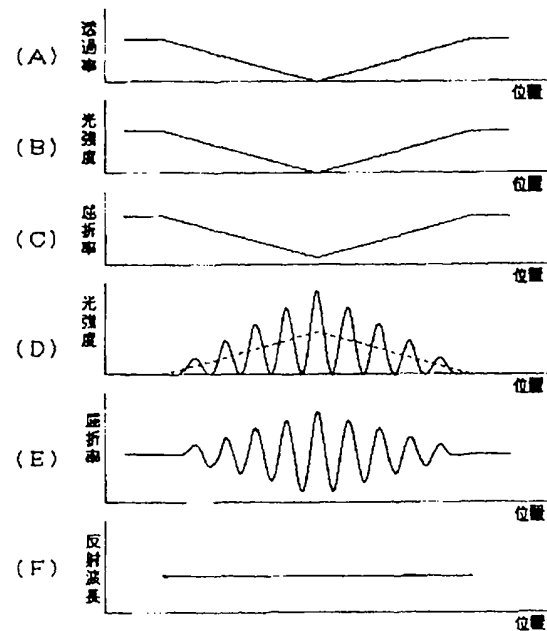
【図9】



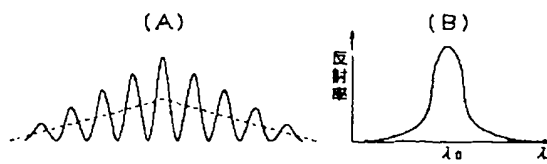
【図10】



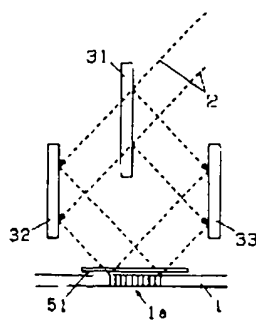
【図13】



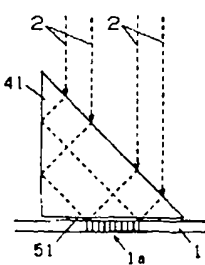
【図12】



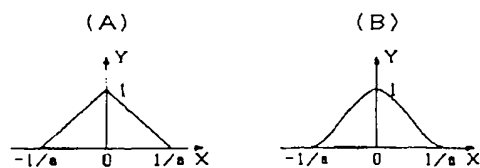
【図15】



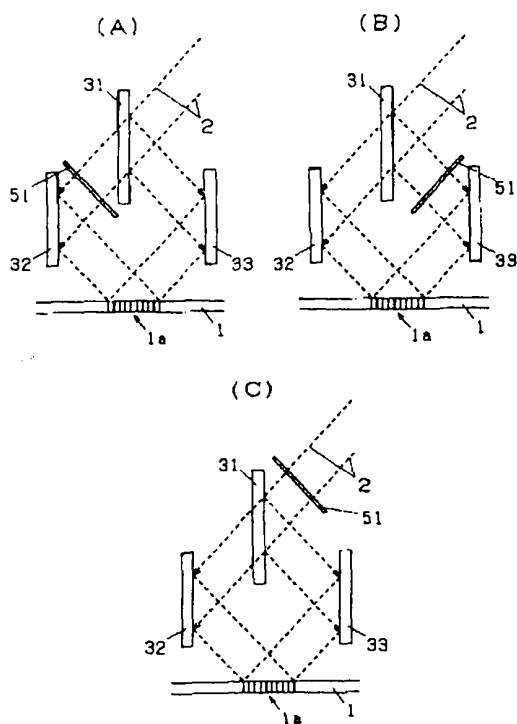
【図17】



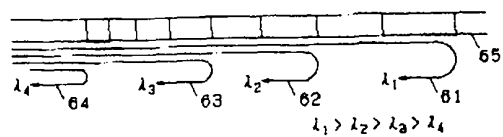
【図18】



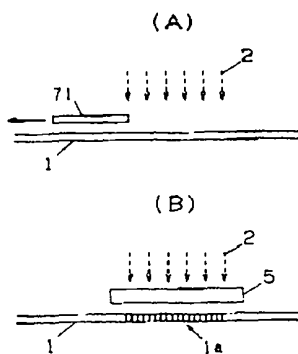
【図16】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 榎本 正  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内